

Sustentabilidade na Indústria Tecnológica: Uma Perspectiva sobre os Impactos Ambientais Causados pelas Empresas de Inteligência Artificial

Lucas Gabriel de L. Santos¹, José Jailton H. Ferreira Junior¹

¹Faculdade de Computação – Universidade Federal do Pará (UFPA)
Castanhal, PA – Brasil

cnttlucas@outlook.com, jjj@ufpa.br

Abstract. *This article aims to analyze and discuss indices related to the sustainability of technology companies, with an emphasis on those operating in the field of Artificial Intelligence, as well as to evaluate the sustainable practices that these corporations have implemented to address the problem analyzed. Qualitative research was used as the method, utilizing consolidated sources such as Google Scholar and SciELO, with preference given to recent publications. The study achieved its intended objective, but there are justified gaps that could be addressed in future work..*

Resumo. *Este artigo tem como objetivo analisar e discutir índices que tratam sobre a sustentabilidade das empresas de tecnologia, com ênfase naquelas que atuam no ramo de Inteligência Artificial, bem como avaliar as práticas sustentáveis que estas corporações têm realizado para contornar o problema analisado. Foi utilizado como método a pesquisa qualitativa, utilizando fontes consolidadas, como Google Scholar e SciELO, com preferência a publicações recentes. O estudo conseguiu atingir o objetivo pretendido, mas há lacunas, justificadas, que podem ser abordadas em trabalhos futuros.*

1. Introdução

Atualmente, é notória a percepção geral acerca da evolução tecnológica que ocorre mundialmente, e de forma bastante acelerada. *Smartphones*, Inteligência Artificial (IA), Robôs Autônomos, dentre várias outras inovações que foram alçadas ao público em geral, antes disponíveis apenas para quem desenvolvia tais tecnologias, a exemplo de corporações ou órgãos governamentais. De fato, essas evoluções possibilitaram uma mudança drástica em várias áreas da vida humana, desde a forma em que as pessoas se comunicam umas com as outras, até o modo de interação com o mundo a sua volta.

Assim como afirmam Kölling, Andrade e Peixoto (2022), é quase um consenso que o desenvolvimento das Tecnologias da Informação (TI) proporcionou a consolidação de uma nova dinâmica na circulação da riqueza global, alcançando-se um avanço técnico-científico expressivo, pautado, dentre outras características, na automatização de processos produtivos inteiros e avanços científicos em diversas áreas do conhecimento humano.

Vale ressaltar que as inovações na área tecnológica, ao contrário do que se pode pensar, não são acontecimentos recentes. Turing, um dos grandes precursores dos avanços na TI, desenvolvia, já na década de 50, métodos em que era possível testar a capacidade das máquinas “pensarem”, dentre eles temos o famoso “Teste de Turing”, em que os

computadores eram configurados para serem capazes de reproduzir padrões realizados por humanos [Turing, 1950 *apud* Kölling; Andrade; Peixoto, 2022].

Gradativamente, os efeitos gerados, dentre outros fatores, pela exponencial evolução técnico-científica acarretam uma maior atenção para os problemas ambientais que acometem o mundo. Soma-se esse agravamento a maior percepção populacional sobre a responsabilização da indústria, como um todo, pela produção exacerbada de substâncias e resíduos que poluem o meio ambiente, principalmente gases do efeito estufa, que levam a uma piora na qualidade do ar e da água, o que gera uma queda na qualidade de vida de todos.

A fim de contornar esta situação, o desenvolvimento sustentável vem sendo cada vez mais evidenciado e colocado em pauta por diferentes setores da sociedade, colocando em xeque a forma como a indústria evoluiu ao longo dos anos e propondo uma nova forma de progresso. Assim como explica WCED (1987 *apud* Kölling; Andrade; Peixoto, 2022), esse tipo de desenvolvimento seria aquele que busca atender às necessidades da geração atual, sem comprometer a possibilidade de as gerações posteriores atenderem às suas.

De acordo com Morini, Cruz e Garcia (2024), os fundamentos principais do desenvolvimento sustentável foram escritos na Agenda 21 – encontro ocorrido no Rio de Janeiro em 1992 – e buscavam conciliar métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica. Garantindo que, assim como explica Kölling, Andrade e Peixoto (2022), a busca por lucro seja superada e a responsabilidade empresarial seja almejada.

Dada a relevância do tema, em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) propôs aos seus países membros os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), um esforço conjunto entre “países, empresas, instituições e sociedade civil”, para que sejam tomadas ações para combater as mudanças climáticas que já estão em curso. A meta é conseguir alcançar os objetivos até 2030, na chamada Agenda 2030, por isso a necessidade de um trabalho global em conjunto (PactoGlobal - Rede Brasil, 2022-a).

Nessa perspectiva, é perceptível que nos últimos anos ficou cada vez mais evidente o período de desequilíbrio climático que o planeta está passando. Os noticiários mostram, com uma frequência mais recorrente, acontecimentos catastróficos que ocorrem em diversas regiões do mundo: cidades em chamas, furacões, inundações, e temperaturas que se elevam a cada ano, comprometendo ainda mais a sobrevivência da espécie humana e de todos os outros seres vivos.

Com o intuito de auxiliar nessas questões ambientais, algumas iniciativas tecnológicas vêm sendo adotadas por empresas de diferentes setores, como por exemplo, o uso de computação em nuvem para armazenamento de informações – substituindo os *datacenters* físicos –, sistemas de automação de processos, e até mesmo o trabalho remoto, que pode garantir uma economia de energia, dada a quantidade reduzida de funcionários trabalhando nos escritórios.

Contudo, é preciso analisar os impactos ambientais que o uso dessas tecnologias pode gerar ao meio ambiente, visto que os danos e custos que seriam causados pelas organizações que se beneficiam do uso dessas ferramentas estão apenas sendo transferidos para as próprias corporações que fornecem tais serviços de computação, assim como afirma Reis (2023). Tal afirmação gera a necessidade de que sejam avaliadas

as decisões tomadas por parte da indústria tecnológica, para garantir que suas atividades gerem o mínimo de impactos ao ecossistema.

No âmbito científico, há poucas pesquisas que se debruçam sobre como as empresas do setor de tecnologia afetam diretamente o meio ambiente. Por outro lado, existe uma boa quantidade de autores que discorrem acerca de como algumas soluções tecnológicas podem contribuir em questões ambientais, caso sejam adotadas por empresas de diferentes categorias. Deste modo, é importante conhecer e avaliar as iniciativas das empresas para o enfrentamento dos danos gerados, além de identificar as ações executadas por estas para garantir que suas operações ocorram visando a sustentabilidade.

Ante o exposto, é de suma importância que sejam analisadas as iniciativas que as empresas de TI – no caso do presente trabalho, especificamente as que criam soluções de IA – comprometem-se a fazer, para que não apenas o lucro seja o norte das suas operações, mas, também, o bem-estar social e ambiental. Apenas a partir desta perspectiva será possível garantir que, além de desenvolverem soluções que auxiliem na sustentabilidade do ecossistema, estas empresas também estejam comprometidas em fazer sua contribuição para um meio ambiente mais saudável para todos.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo central analisar como as empresas de tecnologia atuaram, direta ou indiretamente, para danificar o meio ambiente nas regiões em que estão localizadas, bem como avaliar o impacto global que pode ser gerado a partir da execução de suas atividades. Para isso, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar dados sobre consumo energético e emissões de gás carbônico (CO₂) por parte das empresas de IA;
- Avaliar as práticas sustentáveis que estas empresas têm adotado com o objetivo de mitigar – ou contornar – o problema em questão.

O trabalho tem a seguinte estrutura: a seção 2 apresenta o referencial teórico que serve de base para o presente estudo, descrevendo os conceitos norteadores da pesquisa; a seção 3 descreve a metodologia que baliza o trabalho; a seção 4 discute os resultados conquistados pela pesquisa; e, por fim, a seção 5 dialoga sobre as considerações obtidas mediante o estudo.

2. Fundamentação Teórica

A fim de facilitar o entendimento sobre o conteúdo do presente trabalho, faz-se necessária a explanação acerca de alguns termos que norteiam o desenvolvimento do estudo em questão. Deste modo, os próximos tópicos se atêm a explicar os conceitos, fundamentados na literatura, dos temas principais da pesquisa.

2.1. Sustentabilidade

Primordialmente, faz-se necessário elucidar ao leitor um dos termos centrais do presente estudo com a seguinte pergunta: o que seria “sustentabilidade”? Diferentes conceitos podem ser encontrados na literatura, contudo, à luz do que cita Feil e Schreiber (2017 *apud* Kölling, Andrade e Peixoto, 2022, p. 25-26), este termo “expressa a preocupação com a qualidade de um sistema que diz respeito à integração indissociável (ambiental e

humano), e avalia suas propriedades e características, abrangendo os aspectos ambientais, sociais e econômicos”.

Na mesma lógica, pode-se encontrar o que esclarece Ideyama e Becker (2024), onde “sustentabilidade” é definida como a capacidade de se alcançar um desenvolvimento que seja capaz de atender as necessidades presentes, sem que a satisfação das gerações futuras seja prejudicada. Além da conceituação geral sobre sustentabilidade, estes também pontuam que a sustentabilidade ambiental diz respeito à redução do impacto ambiental e à eficiência no uso de recursos, “enquanto a sustentabilidade tecnológica aborda a longevidade, segurança e inovação, dentro da infraestrutura de nuvem”.

A respeito do tema “Sustentabilidade e Tecnologia”, diversos pesquisadores analisam as maneiras que o uso de soluções tecnológicas está relacionado a geração de impactos positivos no meio corporativo como um todo. Dentre eles, pode-se citar: Kölling, Andrade e Peixoto (2022), Ideyama e Becker (2024) e Reis (2023). No entanto, é escassa a quantidade de autores que tratam de uma temática similar à do presente estudo, a exemplo dos citados anteriormente, apenas Reis (2023) faz um trabalho sobre como é possível diminuir o consumo de energia na computação em nuvem.

É possível observar um contraponto de ideias entre alguns pesquisadores estudados, no que se pode observar em: “As migrações para a nuvem pública podem reduzir as emissões de CO₂ (dióxido de carbono) em 59 milhões de toneladas por ano [...], o que equivale a tirar 22 milhões de carros das ruas” [Accenture, 2020 *apud* Ideyama; Becker, 2024]. No entanto, Reis (2023, p. 23303), afirma:

A transição para a computação em nuvem traz consigo uma variedade de benefícios abrangentes [...] podemos citar a redução dos gastos com energia e refrigeração por parte das empresas. Contudo, é importante ressaltar que essa diminuição não deve ser interpretada como um indicador de compromisso ambiental, já que esses custos e impactos estão apenas sendo transferidos.

2.2. ESG (Ambiental, Social e Governança)

Ao longo dos anos, o modo como a sociedade pensa e se organiza foi sendo gradativamente alterado. Tal alteração provocou uma mudança na forma como as empresas lidam com a sua responsabilidade social, “que vem acompanhada”, como afirma Morini, Cruz e Garcia (2024) de uma preocupação ambiental e, até mesmo, com sua própria gestão. “Assim, pode-se dizer que a sociedade passou da ignorância total para alguma consciência sobre o tema, o que também ocorreu no âmbito empresarial, situação cuja prática é complexa, sobretudo porque o principal objetivo das empresas é o lucro financeiro” [Morini; Cruz; Garcia, 2024, p. 38].

Partindo desta mudança de paradigma, surge o termo ESG (Environmental, Social and Governance), que gradativamente tem ganhado destaque nos últimos anos, também evidenciado pelos desastres climáticos que acontecem anualmente em todas as partes do globo e a preocupação acerca das práticas sustentáveis das grandes empresas. Esta sigla surgiu no ano de 2004, em um relatório intitulado “*Who Cares Wins*”, uma parceria entre o Pacto Global da ONU e o Banco Mundial [Pacto Global - Rede Brasil, 2022-?b]. O documento tinha como objetivo propor “diretrizes e recomendações sobre como contemplar questões ambientais, sociais e de governança na gestão de ativos, serviços de corretagem de títulos e pesquisas relacionadas ao tema” [Irigaray; Stocker, 2022, p. 1].

A relevância desta temática é tão expressiva que de acordo com dados da PwC (*PricewaterhouseCoopers*), cerca de “57% dos ativos de fundos mútuos na Europa estarão em fundos que consideram os critérios ESG, o que representa US\$ 8,9 trilhões”, até o fim do ano de 2025. Além disso, segundo levantamento feito pela *Morningstar* e *Capital Reset*, no Brasil, foram captados R\$2,5 bilhões, somente em 2020, por parte de fundos ESG [Pacto Global - Rede Brasil, 2022-?b]. Esta perspectiva evidencia que tanto a sociedade quanto investidores estão cada vez mais exigindo das empresas práticas sustentáveis e que abranjam preceitos do ESG [Kölling; Andrade; Peixoto, 2022].

Em âmbito nacional, mesmo que o entendimento e a aplicação dos princípios ESG ocorram de forma tardia e lenta, o termo tem ganhado uma notória reverberação em diversos setores da economia do país, pois “as empresas que adotam os critérios ESG passaram a ser vistas como mais sólidas, mais eficientes, com maior valor e maior resiliência em meio às incertezas e vulnerabilidades, trazendo mais lucratividade e investimentos” [Kölling; Andrade; Peixoto, 2022, p. 28]. Desse modo, a adoção de princípios ESG consiste não apenas em uma forma de garantir que práticas sustentáveis sejam adotadas, ainda que este seja o cerne da sigla, mas, também, uma maneira de as empresas apresentarem suas responsabilidades social e ambiental.

2.3. Energia Verde

De maneira sucinta, “Energia Verde” nada mais é do que a energia gerada por tecnologias que não utilizam combustíveis nuclear e fóssil (petróleo e carvão, por exemplo), ou seja, são aquelas provenientes de fontes renováveis e limpas. Além disso, para ser considerada “energia verde”, é necessário que todo o processo de geração e distribuição seja o mais sustentável possível [Raízen, 2024]. Este tipo de energia começou a estar em maior evidência com o aumento da preocupação acerca dos impactos ambientais causados pelas fontes geradoras de energia [Jota, 1998].

Tal conceito está totalmente aliado ao de desenvolvimento sustentável, visto que este tem como objetivo produzir com sustentabilidade, garantindo tanto as demandas do presente quanto o futuro das próximas gerações, e aquele visa garantir uma cadeia de produção de energia que gere o menor impacto possível ao ecossistema do planeta. Para isso são utilizadas fontes que não esgotam os recursos disponíveis na Terra: energia eólica, solar e de biomassa [Raízen, 2024].

Nessa perspectiva, o Brasil é destaque global em produção de energia renovável, tendo em vista que, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN2023), a média global de energia consumida proveniente de fontes “verdes” é de 26,6%, enquanto que no âmbito nacional essa quantidade corresponde a um total de 87,9%. Apesar da fonte hídrica ser a responsável pela maior parte dessa produção, nota-se um avanço na utilização de energia solar, que obteve um avanço de 79,8% em 2023, seguida da eólica, que aumentou 12,9% no mesmo período [Raízen, 2024].

2.4. Inteligência Artificial

Inicialmente, para apresentar um conceito de Inteligência Artificial, é necessária a conceituação do termo “inteligência”. Esta palavra se origina no latim, do verbo *intelligere*, uma junção do prefixo *inter*, que significa “entre”, e *legere*, que significa “reunir”, “juntar”, mas também, “escolher”. Portanto, “inteligência” seria a capacidade de fazer a melhor, ou mais adequada, “escolha entre” as opções disponíveis [Martins,

2014]. Artificial, de acordo com a definição do Dicionário Priberam (2025), significa: “que não é natural”. Portanto, Inteligência Artificial seria uma inteligência que não é natural, ou uma inteligência que não é, inerentemente, humana. Partindo desta conceituação, pode-se inferir que robôs, assistentes virtuais, e até mesmo carros, fazem a utilização da chamada “Inteligência Artificial” na execução de suas tarefas, previamente estabelecidas em seus códigos computacionais.

Apesar de seu desenvolvimento ocorrer há muitas décadas, o conceito de IA chegou em seu ápice com o lançamento do famoso *ChatGPT*, da empresa *OpenAI*. Lançado no final de 2022, a possibilidade de ver perguntas, desde as mais simples até as de certa forma complexas, sendo respondidas de forma instantânea por um “robô”, foi recebida com entusiasmo pela sociedade. Até aquele momento, a principal maneira de pesquisa era através do buscador *Google*, mas este não tinha a praticidade e a rapidez do inovador *chat*, pois ainda era preciso um clique para acessar a página da resposta, e uma certa análise do conteúdo para encontrar a solução desejada.

Do lançamento do *ChatGPT* até os dias atuais, várias inovações foram feitas no campo da IA, implementando essa tecnologia em quase todos os âmbitos da vida cotidiana. Um caso a ser citado de fácil percepção diz respeito aos assistentes virtuais, que substituem, num primeiro contato com o usuário, atendentes humanos. De acordo com Brych (2024), tal implementação foi uma das primeiras a ocorrer, visto a quantidade de tarefas repetitivas que são realizadas nesse tipo de trabalho. Automatizar processos, como preenchimento dos dados de clientes, gera um ganho de tempo muito significativo para atendentes de *call center*, que podem focar no mais importante: ouvir o consumidor.

Contudo, há questões controversas sobre o uso da IA, principalmente no que diz respeito à geração de imagens, pois, segundo críticos, a Inteligência Artificial não usa traços próprios, visto que ela usa um banco de informações pré-estabelecidas de como “fazer arte”, e estaria “se apropriando” das técnicas de artistas reais, sem dar os devidos créditos, sendo a imagem final tida apenas como uma “imagem gerada por Inteligência Artificial”.

3. Metodologia

Toda e qualquer produção científica necessita de um método de estudo a fim de embasar o conteúdo produzido. De acordo com Pereira *et al.* (2018, p. 67), o método nada mais é que “o caminho para se realizar alguma coisa e quando se tem o caminho, torna-se mais fácil realizar viagens sabendo onde se está e aonde se quer chegar e como fazê-lo”, e “este caminho é construído, sobretudo, a partir da natureza do objeto de estudo, das relações do pesquisador com as concepções epistêmico-metodológicas existentes, de seu engajamento com a atividade de pesquisa e com a realidade a ser estudada” [Ribeiro, 2017, p. 26].

Partindo desta premissa, o presente estudo tomou como metodologia a pesquisa qualitativa, em razão da indispensabilidade da interpretação subjetiva dos textos e artigos que foram lidos, assim como afirma Pereira *et al.* (2018, p. 67): “os métodos qualitativos são aqueles nos quais é importante a interpretação por parte do pesquisador com suas opiniões sobre o fenômeno em estudo”.

Do ponto de vista da técnica utilizada, foi escolhida a pesquisa bibliográfica, que, de acordo com Sousa, Oliveira e Alves (2021, p. 66):

[...] é o levantamento ou revisão de obras publicadas sobre a teoria que irá direcionar o trabalho científico o que necessita uma dedicação, estudo e análise pelo pesquisador que irá executar o trabalho científico e tem como objetivo reunir e analisar textos publicados, para apoiar o trabalho científico.

As obras analisadas foram obtidas através da pesquisa em bases de dados consolidadas para este fim, como *SciELO* e *Google Scholar*. Foram utilizadas as palavras-chave: “Impactos ambientais”, “Tecnologia da Informação”, “Sustentabilidade” e “ESG”, as quais foram combinadas entre si e poderiam estar contidas no título ou no corpo do texto. Foram priorizadas publicações mais recentes sobre o assunto, com o período dos resultados da pesquisa obrigatoriamente contidos entre 2020 e 2025.

Além disso, foram realizados dois testes práticos utilizando dois dos *chatbots* mais conhecidos da atualidade: *ChatGPT* e *Gemini*. Para isso, foi criado um *chat* novo com os *bots*, foram feitas algumas solicitações e, ao final, foi pedido para que fornecessem uma estimativa do quanto foi consumido de energia e emitido de gás carbônico durante a interação. O teste foi realizado em um *notebook* com processador i3 de 10ª geração, conectado ao *Wi-Fi*, e que, no momento do teste, não estava conectado à fonte de alimentação.

4. Resultados e Discussão

Este tópico aborda os resultados que foram obtidos com a revisão da literatura realizada, bem como uma análise crítica destas. As informações coletadas mostram a dimensão do impacto e a importância de discutir a parcela de responsabilidade das empresas de TI nas mudanças climáticas que têm acometido o mundo. Ademais, será explanado sobre as principais atitudes realizadas pelas empresas com maior atuação no campo da Inteligência Artificial, cientes de que suas operações têm contribuindo fortemente para o consumo elevado que está sendo evidenciado por diferentes pesquisadores.

4.1. Carência de registros sobre o assunto

Primordialmente, é de suma importância relatar que as informações sobre consumo e índices ambientais relevantes, os quais deveriam ser amplamente publicizados pelas organizações mantenedoras dos serviços de IA, são divulgados de forma limitada, o que dificulta a análise mais aprofundada acerca do tema. Nesse contexto, pesquisadores, ativistas e empresas do setor de energia, bem como instituições de pesquisa financiadas com recursos públicos argumentam que as informações divulgadas pelas principais empresas de IA e operadores de *data centers* são insuficientes, e que não há um número explícito que documente a potência total utilizada, por exemplo, pelo *ChatGPT*, um dos *chatbots* mais conhecidos da atualidade [McLean, 2023; O'Donnell, 2025].

Por conseguinte, os valores coletados, e que serão expostos no presente trabalho, são estimativas, pois não há valores exatos da demanda requerida pelos servidores dedicados para serviços de Inteligência Artificial das principais organizações desse setor (*OpenAI*, *Google* e *Microsoft*, responsáveis por *ChatGPT*, *Gemini* e *Copilot*, respectivamente).

Dessa maneira, é incontestavelmente importante uma maior transparência por parte das referidas corporações, tanto pela necessidade de observar se as estimativas estão dentro dos reais valores dos índices, quanto para, caso os dados reais sejam mais elevados

do que é computado, adotar medidas que mitiguem ou amenizem a problemática, do mesmo modo como afirmam Shehabi *et al.* (2024, p. 68 *apud.* O'Donnell, 2025):

[...] essa falta de transparência destaca que o crescimento dos *data centers* está ocorrendo com pouca consideração sobre como integrar melhor essas novas cargas à expansão da geração/transmissão de eletricidade ou ao desenvolvimento mais amplo das comunidades.

4.2. Consumo Energético

Para que um modelo de Inteligência Artificial chegue a ser experimentado pelo usuário final, ele passa por diferentes etapas de criação (Figura 1), desde a definição do que irá resolver até sua implantação. Nesse sentido, tanto na etapa onde o protótipo é treinado quanto na última fase, há um gasto de energia, e até 90% desse consumo, na fase de treinamento, diz respeito apenas ao acesso à memória na qual os dados estão alocados [Bourzac, 2024]. Estima-se que no treinamento do GPT-4 foram utilizados 50 GWh (gigawatt-hora) de eletricidade, o que seria suficiente para abastecer a cidade de São Francisco, na Califórnia, por 3 dias [O'Donnell, 2025].



Figura 1. Processo de criação de uma IA¹

Todo o processo de “raciocínio” de uma IA acontece dentro de *data centers*, estes, por sua vez, são feitos “[...] de metal, plástico e [alimentados] por uma grande quantidade de energia. E cada consulta que você faz a um modelo de IA vem com um custo para o planeta” (Luccioni, 2023, 1 min 52 s, tradução nossa). Ou seja, a computação em nuvem que é utilizada para sustentar modelos de Inteligência Artificial nada mais é do que um, ou vários, *data center* localizado em algum lugar do mundo, como mostra a Figura 2, com inúmeros servidores que processam cada solicitação feita pelos usuários. Desse modo, é necessária uma enorme quantidade de energia para manter esses sistemas em pleno funcionamento. Soma-se isso ao fato desses serviços precisarem ser mantidos 24 horas por dia, todos os dias do ano, para atender uma demanda global que aumenta exponencialmente.

¹ RAPHAELL, Bruno. **Como criar uma Inteligência Artificial? O que é preciso, quais os exemplos e como uma IA pode te ajudar.** 2023. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/como-criar-inteligencia-artificial-ia>. Acesso em: 20 dez. 2025.



Figura 2. Campus do Data Center de New Albany²

Entre os anos de 2005 e 2017 a energia consumida por *data centers* se manteve praticamente estável. No entanto, de 2017 até o ano de 2023, esse consumo dobrou, principalmente motivado pelo fato destes espaços terem sido equipados com *hardwares* que demandavam altas quantidades de energia, especialmente projetados para IA. Além disso, relatórios recentes indicam que cerca de 4,4% de toda a energia consumida nos EUA seja destinada aos *data centers* [O'Donnell, 2025].

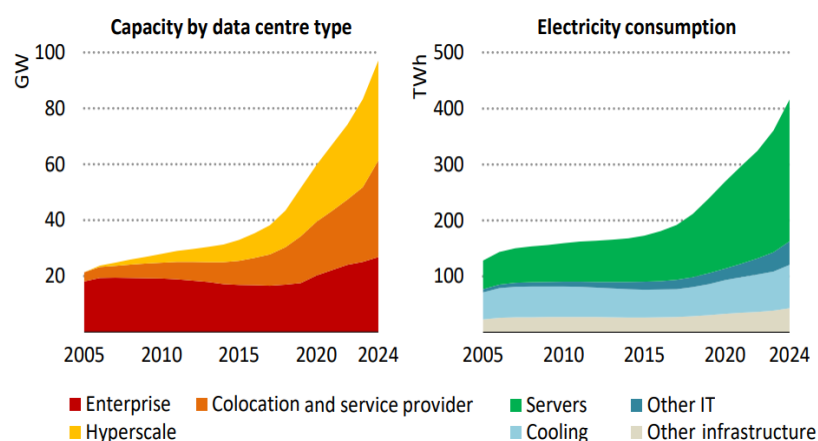


Figura 3. À esquerda, capacidade dos centros de dados entre 2005 e 2024. À direita, consumo de eletricidade no mesmo período³

Nessa perspectiva, estimativas apontam que as necessidades energéticas dos grandes centros de dados da América do Norte aumentaram de 2688 MW (megawatts) no fim de 2022 para 5341 MW no final de 2023, impulsionadas pelas demandas crescentes da IA generativa [Bashir *et al.*, 2024].

² GOOGLE. *Google Data Centers*. Disponível em: <https://datacenters.google/discover-more/photo-gallery/>. Acesso em: 03 dez. 2025.

³ IEA. *Energy and IA*. 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>. Acesso em: 20 dez. 2025.

Um relatório recente da Agência Internacional de Eletricidade (IEA, do inglês *International Energy Agency*) levantou estimativas importantes no que concerne ao consumo energético dos *data centers* [Bourzac, 2024; Bashir *et al.*, 2024; Keary, 2025]:

- No ano de 2022, a demanda energética dessas instalações atingiu aproximadamente 460 TWh (terawatt-hora), o que correspondeu a cerca de 2% da demanda global daquele ano;
- Em 2026 o consumo energético dos centros de dados ficará entre 620 e 1050 TWh, o que corresponde a um aumento na escala de 35 a 128%, equiparando-se ao consumo anual de energia de países como a Suécia, na estimativa mais baixa, e da Alemanha, na mais alta;
- Até 2030, os grandes centros de dados consumirão cerca de 945 TWh de energia, o equivalente ao que é atualmente consumido no Japão, além de representar aproximadamente 3% da demanda mundial de eletricidade.

De acordo com projeções do relatório do Laboratório Nacional de *Lawrence Berkeley*, mais da metade do que será consumido de energia nos EUA em 2028 será destinado a esses centros de dados, com os servidores de IA podendo chegar a consumir, anualmente, energia equivalente à 22% dos lares estadunidenses. Este mesmo relatório aponta que, no ano de 2024, os *data centers* consumiram cerca de 200 TWh (terawatt-hora) de eletricidade, o que seria quase suficiente para abastecer a Tailândia por um ano, e desse valor, os servidores dedicados à IA teriam sido responsáveis por valores entre 53 a 76 TWh, o bastante para suprir mais de 7 milhões de residências americanas durante um ano [O'Donnell, 2025].

Apesar da alta demanda energética desses locais, as empresas têm planejado investir massivamente para criação de novos, o que, caso não seja levada em conta a alta necessidade de eletricidade requisitada por estes espaços, pode acarretar em uma sobrecarga do sistema energético atual. No início de 2025, o recém-eleito presidente dos Estados Unidos (EUA), *Donald Trump*, anunciou o projeto *Stargate* – iniciativa bilionária (US\$500 bilhões) liderada por *OpenAI*, *SoftBank* e *Oracle* – que visa a construção de mais centros de dados em território americano, com cada um podendo necessitar de 5 GW (gigawatt) de energia, quantidade maior do que o demandado pelo estado de *New Hampshire*. Outras empresas também pretendem realizar investimentos semelhantes: a *Apple* planeja aplicar US\$500 bilhões nos próximos 4 anos, já o Google pretendia gastar US\$75 bilhões, apenas em infraestrutura de IA, em 2025 [O'Donnell, 2025].

4.3. Emissões de Gás Carbônico

O processo de consultas aos modelos de Inteligência Artificial, além de consumirem uma grande quantidade de energia, também deixa uma pegada de carbono equivalente. Essa combinação poderá gerar problemas difíceis de sanar num futuro não tão distante.

A empresa *Google* (2024), em seu relatório ambiental anual, afirma ter aumentado suas emissões de carbono em 48% se comparado com o ano de 2019, e 13% de 2022 para 2023. Na mesma linha, a *Microsoft* revelou que suas emissões aumentaram quase 30% desde 2020. Ambos os casos estão relacionados, principalmente, à elevação do consumo de seus *data centers*, impulsionada pela demanda crescente por serviços de IA [Bourzac, 2024; Ferraz, 2024]. Por sua vez, a *OpenAI*, ao ser questionada pela *MIT Technology Review*, sequer forneceu dados sobre o assunto, afirmando apenas “que prioriza o uso eficiente dos recursos computacionais, colabora com parceiros para apoiar metas de

sustentabilidade e que a IA pode ajudar a descobrir soluções climáticas” [O’Donnell, 2025], o que torna nebuloso o trabalho de mensuração e análise de métricas de sustentabilidade de uma das principais empresas de Inteligência Artificial do mundo.

Nesse contexto, estimativas alarmantes indicam que o ChatGPT emite aproximadamente 8,4 toneladas de CO₂ por ano, o dobro do que é emitido por um indivíduo comum [McLean, 2024]. Além disso, projeções avaliam que, apenas no processo de treinamento do GPT-3, foram emitidas cerca de 552 toneladas de dióxido de carbono [Zewe, 2025].

Essas emissões se devem, principalmente, a fonte de energia comumente utilizada para manter os sistemas computacionais em funcionamento. Segundo dados da EIA (2024), *Energy Information Administration*, nos EUA, onde há cerca de 3 mil centros de dados [O’Donnell, 2025], 60% da energia utilizada em 2023 foi originada de combustíveis fósseis, com o gás natural sendo responsável por 43% desse valor.

Portanto, é necessário que as organizações responsáveis por manter os modelos de Inteligência Artificial em execução se preocupem não apenas com a criação de novos espaços de processamento de dados, mas também com fontes mais sustentáveis de produção de energia (como a energia verde, por exemplo) com vistas a continuar suas atividades gerando o menor impacto ambiental possível para o planeta.

4.4. Consumo de Água

No fluxo de interatividade de um sistema de Inteligência Artificial, é necessário que os componentes de *hardware*, assim como em qualquer outro sistema, sejam resfriados, para que não ocorra uma sobrecarga dos equipamentos. Nos *data centers*, o processo de resfriamento geralmente é realizado utilizando água.

Nos centros de dados do *Google*, foram consumidos (ou seja, evaporados) mais de 23 bilhões de litros de água doce para resfriamento em 2023, e aproximadamente 80% era de água potável. Além disso, na comparação anual do consumo, de 2021 para 2022 houve um aumento de cerca de 20%, e um acréscimo em torno de 17% de 2022 para 2023. Outra empresa do setor, a *Microsoft*, também apresentou um aumento na demanda de água, aproximadamente 34 e 22% no mesmo período, respectivamente [Li *et al.*, 2025].

Outrossim, estimativas apontam que a utilização total de água nos *data centers* estadunidenses em 2028 pode chegar a dobrar ou quadruplicar em comparação ao que foi consumido em 2023, atingindo níveis entre 150 e 280 bilhões de litros [Li *et al.*, 2025].

Diante do exposto, fica claro que é necessário adotar medidas para garantir que as operações das empresas prossigam de forma sustentável sem abrir mão do desenvolvimento tecnológico, coexistindo de forma harmoniosa.

4.5. Testes Práticos

A fim de tentar mensurar o quanto uma conversa simples, feita por um único usuário, pode gerar de consumo energético e emissões de CO₂, foi realizada uma curta interação com os *chatbots* *ChatGPT* e *Gemini*, com uma duração aproximada de 5 minutos em ambos.

Nessas conversas foi solicitado que os modelos fizessem um planejamento semanal de estudos, sem exigência de criar tabelas ou gráficos, ficando a critério dos modelos a forma mais adequada para apresentar suas respostas. Até o resultado final

foram utilizados três *prompts* – instrução dada a uma IA – diferentes (além do *prompt* que solicitava os valores estimados), originando, por conseguinte, três respostas. Por fim, cada modelo gerou sua própria estimativa, que forneceu as seguintes informações:

Tabela 1. Valores estimados pelos modelos de IA

	<i>ChatGPT</i> ⁴	<i>Gemini</i> ⁵
Consumo energético (kWh)	0,1 – 0,3	0,004 – 0,04
Emissão de CO ₂ (g)	15 – 135	0,8 – 8

Conclui-se, tendo como base apenas as estimativas acima, que o *ChatGPT* é mais custoso, em termos de consumo energético e emissão de carbono, que o *Gemini*, sendo este uma melhor opção para quem busca uma solução de IA mais sustentável.

Vale ressaltar que essas previsões levam em conta algumas variáveis que dependem do momento em que o usuário utilizou o sistema: processamento em *data center* (inferência do modelo); rede para transmissão dos dados; dispositivo do usuário; tamanho do modelo; e treinamento, sendo que a maior parte do consumo está no processamento no centro de dados e na fase de treino do modelo.

Diante do exposto, os valores estimados aparentam ser pífios perto do consumo até mesmo de uma residência comum, no entanto é importante salientar que é uma hipótese do que pode ser consumido por apenas um usuário, e, em escala global, milhões de pessoas fazem uso de modelos de Inteligência Artificial todos os dias, com usuários passando horas interagindo com o sistema, o que ocasiona um consumo total bastante elevado.

4.6. Boas Práticas que Estão Sendo Adotadas

Tendo em vista o alto impacto ambiental que suas atividades estão causando, as principais empresas de IA estão assumindo uma postura mais cautelosa em relação a expansão de suas operações. Pode-se citar como exemplo os acordos de compra de energia – ou PPAs (*power purchase agreements*) –, que consiste na aquisição de energia renovável, de um projeto que ainda não está em execução, por um período e preço determinados [Welsch, 2022].

Nesse sentido, a *Microsoft* foi a segunda maior compradora de energia renovável por meio de PPAs em 2021, ficando atrás apenas da *Amazon* [Clark, 2022; Welsch, 2022]. Além disso, a empresa anunciou em 2022 novos acordos para produzir mais de 900 MW de energia renovável na Irlanda, afirmando, ainda, que em 2025 seus *data centers* irlandeses seriam totalmente sustentados por energia renovável advindos de projetos apoiados por PPAs [Welsch, 2022]. Outrossim, em 2024 concordou em investir cerca de US\$11,5 bilhões para apoiar a produção de 10,5 GW de capacidade de geração de energia renovável ao redor do mundo, tendo em vista o impulsionamento de suas inovações no campo da IA ao mesmo tempo que busca alcançar suas metas de sustentabilidade [Calma, 2024a].

⁴ CHATGPT. Disponível em: <https://chatgpt.com/>. Acesso em: 06 jan. 2026.

⁵ GEMINI. Disponível em: <https://gemini.google.com/>. Acesso em: 07 jan. 2026.

Em contrapartida, em seu relatório ambiental anual, o *Google* elenca os principais avanços que foram alcançados em 2023, dentre os quais: 10 das suas regiões de nuvem atingiram no mínimo 90% no índice CFE (*Carbon Free Energy* – energia livre de carbono); assinatura de PPAs para aquisição de cerca de 4 GW de capacidade de geração de energia limpa; reabastecimento de aproximadamente 1 bilhão de galões de água, o que equivale a 18% do seu consumo de água doce em 2023; utilizou em seus produtos embalagens com pelo menos 99% de isenção de plástico [Gomes e Brandt, 2024].

Além disso, o *Google* fez uma parceria com desenvolvedores locais para fazer a construção de *data centers* sustentados por energia renovável. A colaboração com as empresas *Intersect Power* e *TPG Rise Climate*, de energia e investimentos, respectivamente, gira em torno de US\$20 bilhões e tem foco na construção de “parques industriais” nos EUA. Espera-se que o primeiro deles esteja parcialmente operacional ainda em 2026 e totalmente concluído em 2027 [Calma, 2024b].

Até 2030, tanto *Google* quanto *Microsoft* pretendem alcançar a meta de zerar suas emissões de carbono em todas as suas operações, ambas almejam atingir este objetivo por meio da compra de “energia zero carbono”, ou energia limpa [Welsch, 2022; Gomes e Brandt, 2024].

Por sua vez, a *OpenAI* busca minimizar o impacto de suas operações otimizando sua eficiência computacional – através da melhoria do processo de treinamento dos modelos –, utilizando fontes de energia renováveis e incentivando a colaboração na indústria para práticas responsáveis de IA, como a parceria com a plataforma de nuvem da *Microsoft Azure* [Breznik, 2025]. Contudo, embora a empresa tenha expressado estar comprometida com seu impacto ambiental, ainda há pouca transparência em relação aos seus dados de consumo energético e emissões de CO₂, o que prejudica a realização de uma análise mais assertiva sobre o assunto.

5. Considerações Finais

O presente estudo teve como objetivo a análise de como as atividades das empresas do ramo de Inteligência Artificial estão impactando o meio ambiente. Dessa forma, a escolha da pesquisa bibliográfica como fonte de informações foi de suma importância, dada sua efetividade para atingir o objetivo pretendido.

Foi possível identificar, mesmo que por intermédio de valores estimados, dados importantes a respeito dos índices sustentáveis das empresas estudadas. No entanto, devido à falta de uma transparência adequada destas, a análise pode ser prejudicada e uma avaliação real do assunto se torna limitado. Portanto, é de suma importância que se tenha uma maior publicidade e transparência sobre os valores reais que estas empresas estão atingindo com suas atividades, para que uma avaliação mais assertiva possa ser realizada.

Os resultados da pesquisa identificaram valores preocupantes para os índices avaliados: consumo energético, emissões de dióxido de carbono e consumo de água, o que mostra a urgência na adoção de medidas eficazes para mitigação dos problemas ambientais que podem ser gerados a partir da continuidade de suas operações.

Dentre as principais contribuições da presente proposta, podem-se destacar: a explanação acerca das métricas de sustentabilidade das principais empresas de tecnologia do mundo e a análise das práticas sustentáveis destas organizações.

Nesse contexto, é necessário que essas corporações aliem o desenvolvimento tecnológico ao sustentável, pois assim seria garantido tanto a continuidade de inovações que contribuirão para a sociedade quanto a qualidade de vida de todos. De nada adianta, pois, uma coletividade que consegue fazer inúmeras tarefas com auxílio de ferramentas altamente computadorizadas, se este corpo social não viver em um ambiente agradável e que garanta um bem-estar físico e mental a todos.

6. Agradecimentos

Primeiramente, agradeço aos meus pais, que com muito esforço e suor, me proporcionaram a possibilidade de escrever esse estudo do conforto de casa. Vocês foram o alicerce que me sustentou e ofereceu tudo o que foi necessário para que eu nunca desistisse. Sem vocês, nada disso seria possível.

À minha esposa, Bárbara Nicole, por todo o apoio e motivação despendidos nos momentos mais difíceis e conturbados. Sem você eu não teria conseguido chegar até aqui e concluir minha graduação. Obrigado por todo o suporte que me deste durante minha trajetória. Esse é um pequeno passo, mas muito importante, para a construção do futuro da nossa família. Essa conquista também é sua. Eu te amo, minha amora.

Ao meu filho, Nicolas Gabriel, que me mostrou que sou capaz de fazer qualquer coisa. Meu filho, quando puderes ler, saibas que o papai sempre vai te amar muito.

Ao meu querido primo, André, e sua esposa Gleice, que me proporcionaram a oportunidade de ter bons estudos mesmo sem ter essa obrigação. Vocês foram parte fundamental em todo o meu percurso acadêmico.

Aos meus amigos de turma, Manuela, Maria Luiza e Rafael, por todo o empenho nos trabalhos em grupo enfrentados ao longo do caminho.

Ao meu orientador, professor José Jailton, pelos ensinamentos e conselhos que contribuíram para que este trabalho fosse produzido.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram na minha formação, mas que não foram nominalmente citados.

Referências

- BASHIR, Noman *et al.* ***The Climate and Sustainability Implications of Generative AI.*** 2024. Disponível em: <https://mit-genai.pubpub.org/pub/8ulgrckc/release/2>. Acesso em: 05 dez. 2025.
- BOURZAC, Katherine. ***Fixing AI's energy crisis.*** 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-024-03408-z>. Acesso em: 03 dez. 2025.
- BREZNIK, Lovro. ***OpenAI and Environmental Responsibility. 20th IRDO International Conference INNOVATIVE, SUSTAINABLE and SOCIALLY RESPONSIBLE SOCIETY 2025,*** Eslovênia, 2025. Disponível em: <https://www.irdo.si/irdo2025/posters/63.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2025.
- BRYCH, Rafael. ***Afinal, a IA vai substituir os humanos no atendimento ao cliente?.*** 2024. Disponível em: <https://tiinside.com.br/30/09/2024/afinal-a-ia-vai-substituir-os-humanos-no-atendimento-ao-cliente/>. Acesso em: 08 abr. 2025.

- CALMA, Justine. *Microsoft made the biggest renewable energy agreement ever to fuel its AI ambitions*. 2024a. Disponível em: <https://www.theverge.com/2024/5/2/24147153/microsoft-ai-data-center-record-renewable-energy-purchase>. Acesso em: 05 dez. 2025.
- CALMA, Justine. *Google's future data centers will be built next to solar and wind farms*. 2024b. Disponível em: <https://www.theverge.com/2024/12/10/24317888/googles-data-center-solar-wind-renewable-energy-intersect-partnership>. Acesso em: 05 dez. 2025.
- CLARK, Kevin. *BloombergNEF: Corporate clean energy purchases topped 30 GW in 2021*. 2022. Disponível em: <https://www.renewableenergyworld.com/solar/bloombergnef-corporate-clean-energy-purchases-topped-30-gw-in-2021/>. Acesso em: 22 dez. 2025.
- DICIONÁRIO PRIBERAM. **Artificial - Dicionário Online Priberam de Português**. 2025. Site. Disponível em: <https://dicionario.priberam.org/artificial>. Acesso em: 09 abr. 2025.
- EIA. *Electricity explained: Electricity in the United States*. 2024. Disponível em: <https://www-eia-gov.translate.goog/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us.php>. Acesso em: 20 dez. 2025.
- FERRAZ, Ivini. *Green AI: métricas para eficiência energética e sustentabilidade dos algoritmos de inteligência artificial e data centers*. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 11, n. 29, p. 1255-1265, 2024.
- GOMES, Ben; BRANDT, Kate. **Nosso relatório ambiental 2024**. 2024. Disponível em: <https://blog.google/intl/pt-br/novidades/por-dentro-do-google/nosso-relatorio-ambiental-2024/>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- GOOGLE. *Environmental Report 2024*. 2024. Disponível em: <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2025.
- IDEYAMA, Fernando; BECKER, João Luiz. Impactos da governança e elementos ESG na computação em nuvem: Uma análise teórica e prática. **RGC - Revista de Governança Corporativa**, v. 11, p. 01-24, 2024.
- IRIGARAY, Hélio Arthur Reis; STOCKER, Fabricio. ESG: novo conceito para velhos problemas. **Cadernos Ebape.Br**, v. 20, n. 4, p. 1-4, 2022.
- JOTA, Patrícia Romeiro da Silva. A energia verde não é uma energia limpa. **Educação & Tecnologia**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, jan./jun. 1998. Disponível em: <https://seer.dppg.cefetmg.br/index.php/revista-et/article/view/317/333>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- KEARY, Tim. *How much energy does AI actually consume? What we know today*. 2025. Disponível em: <https://innovatingwithai.com/how-much-energy-does-ai-actually-consume/>. Acesso em: 05 dez. 2025.
- KÖLLING, Gabrielle Jacobi; ANDRADE, Gernardes; PEIXOTO, Mayra Rody. ESG: Empreendedorismo Sustentável e as Perspectivas da Indústria 4.0 no Agronegócio. **Direito, Negócios & Sociedade**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 20-31, fev. 2022.

- LI, Pengfei *et al.* **Making AI Less “Thirsty”**: Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2304.03271>. Acesso em: 04 dez. 2025.
- LUCCIONI, Sasha. **AI is dangerous, but not for the reasons you think**. 2023. 1 vídeo (10 min 18 s). Disponível em: https://www.ted.com/talks/sasha_luccioni_ai_is_dangerous_but_not_for_the_reasons_you_think?lang=pt. Acesso em: 03 dez. 2025.
- MCLEAN, Sophie. **The Environmental Impact of ChatGPT: A Call for Sustainable Practices In AI Development**. 2023. Disponível em: <https://earth.org/environmental-impact-chatgpt/>. Acesso em: 02 dez. 2025.
- MARTINS, Isaltina. **As palavras têm sua história**: Inteligência. 2014. Disponível em: <https://dererummundi.blogspot.com/2014/10/as-palavras-tem-sua-historia.html#:~:text=INTELIG%C3%AANCIA%20%2D%20o%20que%20a%20etiologia,compreens%C3%A3o%E2%80%9D%2C%20%E2%80%9Centendimento%E2%80%9D>. Acesso em: 09 abr. 2025.
- MORINI, Ana Maria; CRUZ, Carla Lima Massolla Aragão da; GARCIA, Solimar. Conceitos, histórico e Objetivos do Desenvolvimento Sustentável: reflexões sobre ESG e economia circular. **ESG e economia circular na gestão 4.0**, [s. l.], n. 1, p. 35-46, 2024.
- O'DONNELL, James. **A história que você ainda não conhece sobre a pegada energética da IA**. 2025. Disponível em: <https://mittechreview.com.br/impacto-energetico-ia-inteligencia-artificial-data-centers>. Acesso em: 02 dez. 2025
- PACTO GLOBAL - REDE BRASIL. **ODS e Agenda 2030**. 202-?a. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/ods-e-agenda-2030/>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- PACTO GLOBAL - REDE BRASIL. **ESG**. 202-?b. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/esg/>. Acesso em: 08 abr. 2025.
- PEREIRA, Adriana Soares *et al.* **Metodologia da Pesquisa Científica**. ed. 1. Santa Maria: UFSM, NTE, 2018. 119 p. *E-book*. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 08 abr. 2025.
- RAÍZEN. **Energia Verde**: Benefícios para o Meio Ambiente e a Sociedade. 2024. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/energia-verde>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- REIS, Thiago Nelson Faria dos *et al.* Algoritmo DVFS como alternativa para redução de energia na computação em nuvem verde com big data. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 11, p. 23302-23320, 2023.
- RIBEIRO, Madison Rocha. **A relação entre currículo e educação integral em tempo integral**: um estudo a partir da configuração curricular do Programa Mais Educação. 2023. 241 f. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.
- SOUSA, A. S.; OLIVEIRA, G. S. ; ALVES, L. H. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da Fucamp**. v. 20, n. 43, p. 64-83, 2021.

WELSCH, Chris. *As the world goes digital, datacenters that make the cloud work look to renewable energy sources.* 2022. Disponível em: <https://news.microsoft.com/source/emea/features/as-the-world-goes-digital-datacenters-that-make-the-cloud-work-look-to-renewable-energy-sources/>. Acesso em: 04 dez. 2025.

ZEWE, Adam. *Explained: Generative AI's environmental impact.* 2025. Disponível em: <https://news.mit.edu/2025/explained-generative-ai-environmental-impact-0117>. Acesso em: 04 dez. 2025.